



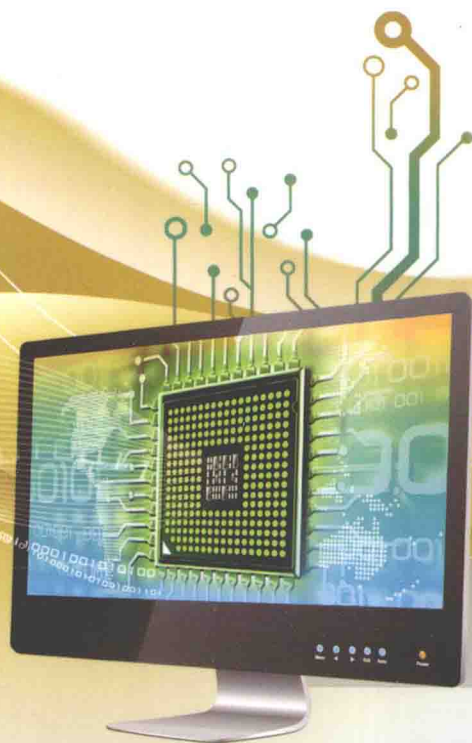
高等学校软件工程专业校企深度合作系列实践教材

嵌入式ARM 体系结构编程 项目开发实践

QIANRUSHIARM TIXIJIEGOUBIANCHENGXIANGMUKAIFASHIJIAN

总主编 / 周清平 主编 / 蔡国民

副主编 / 王新峰 贾涛 刘猛



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等学校软件工程专业校企深度合作系列实践教材

嵌入式 ARM 体系结构 编程项目开发实践

总主编：周清平

主 编：蔡国民

副主编：~~王新峰~~ 贾 涛 刘 猛



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

高等学校软件工程专业校企深度合作系列实践教材/周清平总主编.

嵌入式 ARM 体系结构编程项目开发实践/蔡国民主编.

—长沙:中南大学出版社,2015.3

ISBN 978-7-5487-1411-8

I. 嵌... II. 蔡... III. ①微处理器-计算机体系机构-高等学校-教材②微处理器-程序设计-高等学校-教材

IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 061461 号

嵌入式 ARM 体系结构编程项目开发实践

蔡国民 主编

☐责任编辑 韩 雪

☐责任印制 易建国

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南湘图印务有限责任公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 12.5 ☐字数 307 千字

☐版 次 2015 年 6 月第 1 版 ☐2015 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-1411-8

☐定 价 32.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

Introduction

RM9/11 系列是目前最热门的嵌入式处理平台, 由于具有体积小、低功耗、低成本、高性能、支持 16 位/32 位双指令集和合作伙伴众多的优点, 广泛应用于工业控制、数字消费电子、网络通信以及医疗汽车电子领域。本书针对软件企业嵌入式人才的知识、技能和素质要求, 以真实项目作为实训案例, 使学生系统掌握完成嵌入式项目开发所具备的专业知识、国际统一开发规范和标准, 熟练使用关键技术和平台及工具, 建立嵌入式软件设计思想。

本书主要特色强调实用和应用两大主题, 内容顺序和层次按照嵌入式软件项目实际的开发流程, 将项目拆分为“项目描述、项目目标、项目实施、项目小结与拓展”。每个实训任务的设计都围绕着提高专业实践能力和创新能力、强化职业拓展力组织实施实战训练, 相关理论知识讲解有机融入到项目实施过程。实例典型丰富、技术流行先进, 不但详细介绍了 ARM 的硬件设计和软件编程, 而且提供了完善的设计思路与方案, 总结了开发心得和注意事项, 对实例的程序代码作了详细注释, 学生通过自主学习便可完成项目开发。

作者简介

About the Author

总主编：

周清平，男，1966年3月出生，湖南省张家界人，土家族，教授，博士后，现任中国服务贸易协会专家委员会副理事长，全国服务外包技能考试专家委员会副理事长，吉首大学软件服务外包学院院长，长期从事软件工程专业课程教学和开发，主要研究方向为量子信息、软件信息系统，主持国家自然科学基金、中国科学院科学研究基金、中国博士后基金、教育部科学研究重点项目、湖南省景区信息化专项等科研项目，主持国家级工程实践教育中心、软件工程综合改革试点专业、福特II国际合作项目、湖南省教育信息化专项等教研教改项目，获中国服务外包人才培养最佳实践新锐奖、湖南省自然科学奖、湖南省自然科学优秀学术论文奖，在 *Springer: Quant. Inform. Proces.*, *phys. Leet. A* 等国内外高级学术期刊发表SCI论文二十余篇。

本书主编：

蔡国民，男，1976年9月出生，湖南省张家界人，土家族，副教授，博士研究生，国家高级程序员，现任吉首大学软件服务外包学院院长助理。长期从事软件工程专业课程教学和开发，主讲“C程序设计”、“嵌入式Linux编程”等课程。主要研究方向为嵌入式Linux编程、云计算及大数据处理，参与或主持国家自然科学基金、湖南省景区信息化专项、湖南省教育厅等多个科研项目，负责国家级工程实践教育中心、软件工程综合改革试点专业、福特II国际合作项目、湖南省教育信息化专项等教研教改项目，在国内外高级学术期刊发表论文多篇。

编审委员会

Editorial Committee

高等学校软件工程专业
校企深度合作系列实践教材

顾问

王志英 李仁发 陈志刚 唐振明

主任

周清平

副主任

徐洪智 颜一鸣 成 焕

编委(按姓氏笔画排序)

马庆槐	王建峰	王晓波	王新峰	宁小浩	刘 彬
闫茂源	李 刚	李长云	杨燕萍	沈 岳	张晋华
张彬连	陈生萍	陈园琼	钟 键	贾 涛	郭 鑫
唐伟奇	黄 云	黄 伟	覃遵跃	彭耶萍	曾明星
赖 炜	蔡国民				

总序

Preface

企业专业实训是在真实的企业工作环境中,以项目组的工作方式实现完整的项目开发过程,是实现高素质软件人才培养的重要实践教学环节,是集中训练学生的科学研究能力、工程实践能力和创新能力的必要一环,是对学生综合运用多学科的理论、方法、工具和技术解决实际问题的真实检验,对全面提高教育教学质量具有重要意义。

近年来,吉首大学大力践行“整体渗透、优势互补、人才共育、过程共管、资源共享、责任共担、利益共生、合作共赢”的校企深度合作办学模式,先后与中软国际、青软实训、苏软培训等知名企业开展专业共建,在沉浸式实训模式创新、课程研发、实践教学资源建设等方面取得了显著成效,本次编写出版的“高等学校软件工程专业校企深度合作系列实践教材”就是其中一项重要成果。

本系列教材包括《C语言项目开发实践》《数据库项目开发实践》《Java项目开发实践》《Web前端项目开发实践》《Java EE项目开发实践》《.Net项目开发实践》《Android项目开发实践》《嵌入式ARM体系结构编程项目开发实践》,共8本。校企双方教师、技术专家联合组成了教材编写委员会,他们深入生产实际、把握主流技术、遵循教学规律,摆脱了传统教材“理论知识+实训案例”的简单模式,将实训内容项目化、专业化和职业化,以真实的企业项目案例为载体,循序渐进地引导学生完成实训项目开发流程,使其专业知识得到巩固,专业技能得到提升,综合分析和解决实际问题的能力、项目开发能力、项目管理能力和创新精神得到强化,同时,在项目执行力、职业技能与素养诸方面得到有效锻炼。

本套教材内容覆盖了软件工程专业主要能力点,精选了一定数量的软件项目案例,从项目描述、项目目标、项目实施、项目小结与拓展等方面介绍,

均符合各自相关的项目开发规范，项目实施遵循软件生命周期模型，给出了软件设计思想、开发过程和开发结果。学生通过项目需求分析、系统设计、编码实现、系统测试与系统部署等环节，不断积累项目开发经验。本套丛书构思设计之巧、涉猎领域之广、推广应用之实，无不反映了吉首大学的教育教学改革已经转型到以学生发展为中心、以能力培养为核心的全面综合素质教育上来，是推行校企深度合作办学基础上微创新教学改革成果的集中展示。

“一分耕耘，一分收获”，吉首大学的老师们致力于耕耘，期待着收获。站在第一读者的角度，我更期待本套教材能成为高等院校软件工程专业、职业培训和软件从业人员最具实用价值的实训教材和参考书，用书中所蕴含的智慧创造更多的财富。

是为序。



教授

联合国教科文组织产学合作教席理事会理事
教育部软件工程专业教学指导委员会副主任
国家示范性软件学院建设工作办公室副主任
北京交通大学软件学院院长、博士生导师

2014年6月

前言

Foreword

目前,基于 ARM 体系架构的嵌入式系统在手持移动设备和通信领域得到了广泛应用。学习 ARM 体系架构不仅要掌握重要概念、理论知识点,更重要的是要有一套实践案例教材帮助理解 ARM 设计思想,践行“做中学、学中做”的教育理念。

本书提取了企业中 ARM 底层工程师的经验和精华,注重 ARM 知识体系的完整性,基本概念及知识点清晰,通俗易懂,配套案例丰富。全书共包括 7 个项目案例,段落工整简洁、图文相结合、编码规范、注释详尽,可以让读者在学习 ARM 体系结构及编程时掌握其项目开发能力。为了提高读者的实践能力,书中代码都是经过严格审查的,可以与商业代码相媲美。

本书共分为 8 章,从理论到实践,从感性到理性,前后关联、层层递进、由简单到复杂、由单一到综合,并配有大量的跟踪实训案例,增加了读者学习 ARM 体系结构及 ARM 汇编的趣味性。

第 1 章 ARM 体系结构编程开发基础。详细介绍了嵌入式项目开发实训的知识、能力、素质目标, Tiny6410 的组成和性能,以及 SDT、ADS、RVDS、DS5、IAR EWARM、GNU 工具链等开发工具。

第 2 章 基于 LB522 射频卡项目设计与开发。详细介绍了射频卡项目开发流程, Linux 环境下 UART 通信代码编写过程及注意事项、LB522 射频模块操作指令、控制方式和方法、RFID 射频卡扇区和块的访问、射频卡的认证和数据修改操作过程。

第 3 章 多媒体播放器项目设计与开发。通过对开源项目 MPlayer 的编译, Linux 内核按键驱动,编写驱动应用程序控制 MPlayer,实现多媒体播放器基本功能。

第 4 章 液晶 LCD 显示项目设计与开发。对 S3C6410 显示控制器编程,

驱动 TFT 液晶显示器,实现 ARM 微处理器显示寄存器的控制和使用。

第 5 章 DS18B20 温度传感器项目设计与开发。通过对 DS18B20 的控制端口编程进行温度采集,实现数据在 UARTZ 终端实时显示的功能。

第 6 章 RTC 实时时钟控制项目设计与开发。通过编写 C 语言程序操作 RTC 寄存器,将读取的 BCD 格式时间转换成十进制,通过串口进行显示,并能对系统时间和日期进行设置。

第 7 章 NAND FLASH 硬盘读写项目设计与开发。通过对 ARM Tiny6410 开发板内部主芯片 S3C6410 编程实现对 NAND FLASH 数据的读写功能。

第 8 章 嵌入式模数转换项目设计与开发。通过对 S3C6410 ADC 编程,操作 AD 控制器实现将模拟信号转换成数字信号,通过可调电阻,检验终端上显示 ADC 转换后的值是否正确。

本书由吉首大学软件服务外包学院和青软实训共同编写而成,参加本书编写工作的有周清平、蔡国民、王新峰、贾涛、刘猛,全书由蔡国民教授统稿,周清平教授对全书进行了审核。在本书编写过程中,学院和企业同行对本书提出了许多宝贵建议,在此对他们表示衷心感谢,同时也衷心感谢在本书出版过程中给予我们支持与帮助的中南大学出版社的相关老师和工作人员。

本书中部分程序代码电子文件可在中南大学出版社网站(www.csupress.com.cn)“下载专区”免费下载。

由于编者水平有限、时间仓促,书中难免存在错漏之处,敬请读者批评指正,以便我们及时修改。

编 者
2014 年 6 月

目录

C O N T E N T S

第1章 ARM 体系结构编程开发基础	(1)
1.1 实训目标	(1)
1.1.1 知识目标	(1)
1.1.2 能力目标	(1)
1.1.3 素质目标	(1)
1.2 ARM 体系结构与编程开发技术	(2)
1.2.1 ARM 内核结构	(2)
1.2.2 ARM 寄存器	(3)
1.2.3 ARM C 与汇编程序	(5)
1.3 ARM 体系结构与编程开发工具	(8)
1.3.1 开发环境介绍	(8)
1.3.2 开发板认识与使用	(11)
1.3.3 开发环境搭建	(16)
1.3.4 开发环境使用	(21)
1.4 ARM 编程开发规范	(30)
1.4.1 源程序格式	(30)
1.4.2 标识符命名	(30)
1.4.3 函数	(32)
1.4.4 程序可读性	(34)
1.5 小结	(35)
第2章 基于 LB522 射频卡项目设计与开发	(36)
2.1 项目描述	(36)
2.2 项目目标	(36)
2.3 项目实施	(36)
2.3.1 项目开发基础	(36)
2.3.2 项目开发分析	(40)
2.3.3 项目任务分解	(40)

2.3.4 项目实施步骤	(40)
2.3.5 项目运行结果	(51)
2.4 项目总结与拓展	(54)
2.5 项目参考源代码	(54)
第3章 多媒体播放器项目设计与开发	(60)
3.1 项目描述	(60)
3.2 项目目标	(60)
3.3 项目实施	(60)
3.3.1 项目开发基础	(60)
3.3.2 项目开发分析	(60)
3.3.3 项目任务分解	(61)
3.3.4 项目实施步骤	(61)
3.3.5 项目运行结果	(66)
3.4 项目总结与拓展	(66)
3.5 项目参考源代码	(67)
第4章 液晶 LCD 显示项目设计与开发	(73)
4.1 项目描述	(73)
4.2 项目目标	(73)
4.3 项目实施	(73)
4.3.1 项目开发基础	(73)
4.3.2 项目开发分析	(73)
4.3.3 项目任务分解	(74)
4.3.4 项目实施步骤	(74)
4.3.5 项目运行结果	(84)
4.4 项目总结与拓展	(85)
4.5 项目参考源代码	(85)
第5章 DS18B20 温度传感器项目设计与开发	(90)
5.1 项目描述	(90)
5.2 项目目标	(90)
5.3 项目实施	(90)
5.3.1 项目开发基础	(90)
5.3.2 项目开发分析	(93)
5.3.3 项目任务分解	(95)
5.3.4 项目实施步骤	(95)
5.4 项目小结与拓展	(110)
5.5 项目参考源代码	(110)

第 6 章	RTC 实时时钟控制项目设计与开发	(119)
6.1	项目描述	(119)
6.2	项目目标	(119)
6.3	项目实施	(119)
6.3.1	项目开发基础	(119)
6.3.2	项目开发分析	(120)
6.3.3	项目任务分解	(122)
6.3.4	项目实施步骤	(123)
6.4	项目小结与拓展	(133)
6.5	项目参考源代码	(133)
第 7 章	NAND FLASH 硬盘读写项目设计与开发	(137)
7.1	项目描述	(137)
7.2	项目目标	(137)
7.3	项目实施	(137)
7.3.1	项目开发基础	(137)
7.3.2	项目开发分析	(138)
7.3.3	项目任务分解	(139)
7.3.4	项目实施步骤	(139)
7.4	项目小结与拓展	(161)
7.5	项目参考源代码	(162)
第 8 章	嵌入式模数转换项目设计与开发	(169)
8.1	项目描述	(169)
8.2	项目目标	(169)
8.3	项目实施	(169)
8.3.1	项目开发基础	(169)
8.3.2	项目开发分析	(170)
8.3.3	项目任务分解	(170)
8.3.4	项目实施步骤	(170)
8.3.5	项目运行结果	(177)
8.4	项目总结与拓展	(178)
8.5	项目参考源代码	(178)
参考文献		(185)

第 1 章

ARM 体系结构编程开发基础

1.1 实训目标

本书以“基于 LB522 射频卡项目设计与开发”等 7 个开发项目为实训案例,详细讲解基于 ARM 的嵌入式项目开发思路、开发方法、开发技术和开发流程,通过实战训练,提高软件项目设计与开发能力,为今后从事嵌入式实际项目开发奠定基础。

1.1.1 知识目标

- (1)掌握 ARM 处理器原理。
- (2)掌握 C 语言高级编程技术。
- (3)熟悉 RVDS 开发环境的使用和调试方法。
- (4)掌握 S3C6410 开发板使用方法。
- (5)掌握 GPIO 接口编译方法。
- (6)掌握 RTC 实时时钟原理。
- (7)掌握 NAND FLASH 工作原理及编程方法。
- (8)掌握 RFID 运行原理及编程方法。
- (9)掌握多媒体播放原理及编程方法。
- (10)掌握 LCD 液晶屏工作原理与编程方法。

1.1.2 能力目标

- (1)了解项目业务背景,具备调研同类项目的能力。
- (2)具备对 ARM 体系对硬件系统综合设计能力。
- (3)具备用 C 语言或汇编进行嵌入式项目编程开发能力。
- (4)具备运用 ARM 主流技术进行企业级嵌入式项目开发能力。
- (5)具备测试嵌入式项目基本能力。
- (6)初步具备独立查阅资料,阅读文档等能力。

1.1.3 素质目标

- (1)培养良好的嵌入式项目开发规范意识。
- (2)培养良好的软件工程化思维与编码习惯。

- (3) 培养良好的团队合作精神。
 (4) 培养学生自主学习能力和创新意识。

1.2 ARM 体系结构与编程开发技术

1.2.1 ARM 内核结构

ARM 处理器内核主要由总线系统、ALU、寄存器组、解码译码器等部分组成,具体结构如图 1-1 所示。

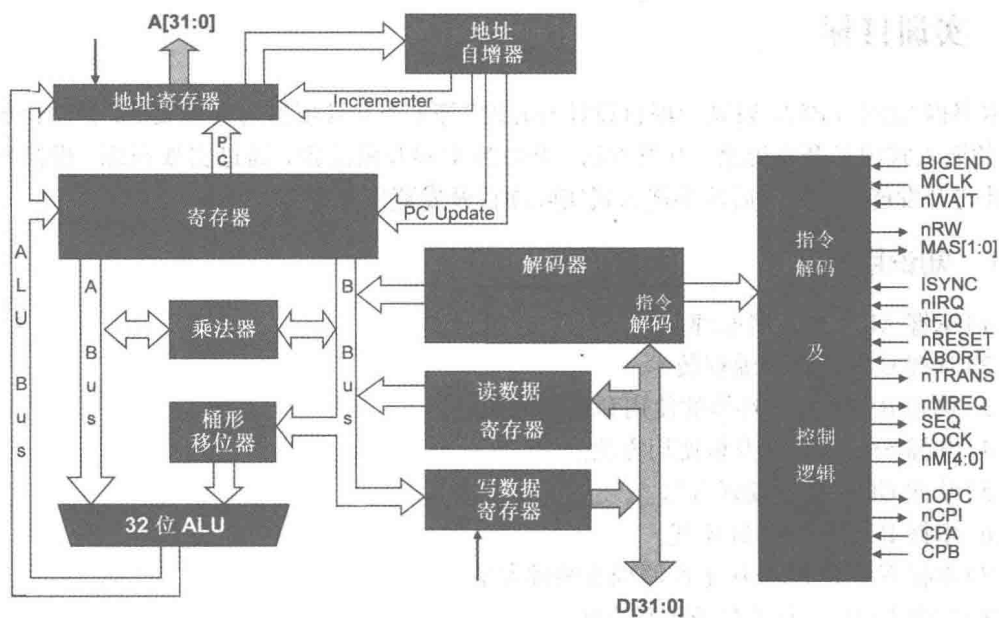


图 1-1 ARM 典型内核结构

(1) 总线系统。

总线系统是指微型计算机各部件之间传送信息的通道,是计算机内部的高速公路。处理器依靠总线系统才能与内存、外围设备等部件进行信息传递。根据传送信息的不同,总线分为三种类型:数据总线(data bus)、地址总线(address bus)、控制总线(control bus),分别负责传递数据、地址和控制信息。数据总线负责数据或指令的读写;地址总线决定读写位置;控制总线输出控制信号。

(2) 算术逻辑单元。

算术逻辑单元(arithmetic & logical unit, ALU)是处理器完成数据运算的核心部分,是专门执行算术和逻辑运算的数字电路。算术运算如加减乘,逻辑运算等。在某些处理器中,ALU 切分为两部分,即算术单元(AU)与逻辑单元(LU)。

(3) 寄存器组。

寄存器是处理器中容量有限的高速存储部件,可用来暂存指令、数据和地址。在处理器

控制部件中，包含的寄存器有指令寄存器(IR)和程序计数器(PC)；在处理器算术逻辑部件中，存储器有累加器和大量通用寄存器。

(4)指令译码器。

指令译码器(instruction decoder, ID)是控制器中的主要部件之一。指令由操作码和地址码组成。操作码表示要执行的操作性性质，即执行什么操作或做什么；地址码是操作码执行时操作对象的地址。计算机执行一条指令时，必须首先分析这条指令的操作码是什么，以决定操作的性质和方法，然后通过指令控制各部件协同完成指令表达的功能，上述分析工作由译码器来完成。

1.2.2 ARM 寄存器

ARM 内核完成各种指令运算需要数据储存空间，即寄存器。ARM 内核共有 37 个 32 位寄存器，其中 31 个为通用寄存器，6 个为状态寄存器。个别寄存器只有在特定的处理器工作状态时才能被访问，而通用寄存器 R0 ~ R14、程序计数器 PC(即 R15)、6 个状态寄存器都是可访问的，寄存器组成如图 1-2 所示。

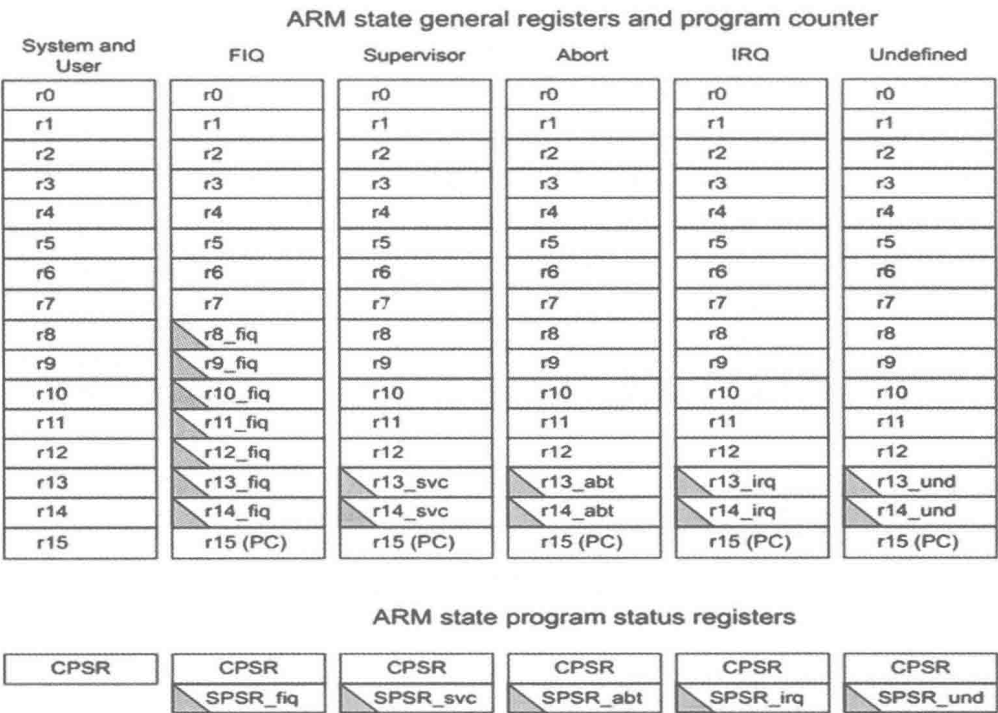


图 1-2 ARM 寄存器

在所有 ARM 寄存器中，有一些寄存器被用作特殊功能。

(1)R15(PC 寄存器)。

寄存器 R15 用作程序计数器(PC)，在 ARM 状态下，位[1: 0]为 0，位[31: 2]用于保存 PC，在 Thumb 状态下，位[0]为 0，位[31: 1]用于保存 PC。由于 ARM 体系结构采用了多级

流水线技术,对于 ARM 指令集而言,PC 总是指向当前指令的下两条指令的地址,即 PC 的值为当前指令的地址值加 8 个字节程序状态寄存器。

(2) R14(LR 链接寄存器)。

R14 称为子程序链接寄存器 LR(link register),当执行子程序调用指令(BL)时,R14 可得到 R15(程序计数器 PC)的备份。在每一种运行模式下,都可用 R14 保存子程序的返回地址,当用 BL 或 BLX 指令调用子程序时,将 PC 的当前值复制给 R14,执行完子程序后,又将 R14 的值复制回 PC,即可完成子程序的调用返回。以上的过程如图 1-3 所示。

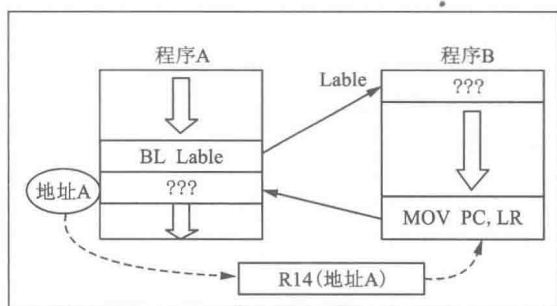


图 1-3 R14 使用过程

(3) CPSR 程序状态寄存器。

CPSR(current program status register, 程序状态寄存器)专门用于保存处理器当前执行状态,包含了条件标志位、中断禁止位、当前处理器模式标志以及其他的一些控制和状态位,可在任何处理器模式下被访问。每一种处理器模式下都有一个专用的物理状态寄存器,称为 SPSR(saved program status register, 备份程序状态寄存器),当异常发生时,SPSR 用于保存 CPSR 的当前值,从异常退出时则可由 SPSR 来恢复 CPSR。由于用户模式和系统模式不属于异常模式,它们没有 SPSR,当在这两种模式下访问 SPSR 时,结果是未知的。CPSR 寄存器中各标志位的含义如图 1-4 所示。

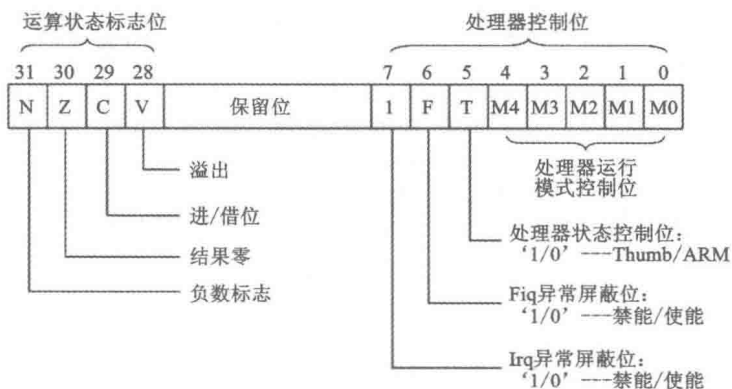


图 1-4 CPSR 位含义